

NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA EL CONTROL DE LA ACIDEZ DEL SUELO: ENMIENDAS LÍQUIDAS



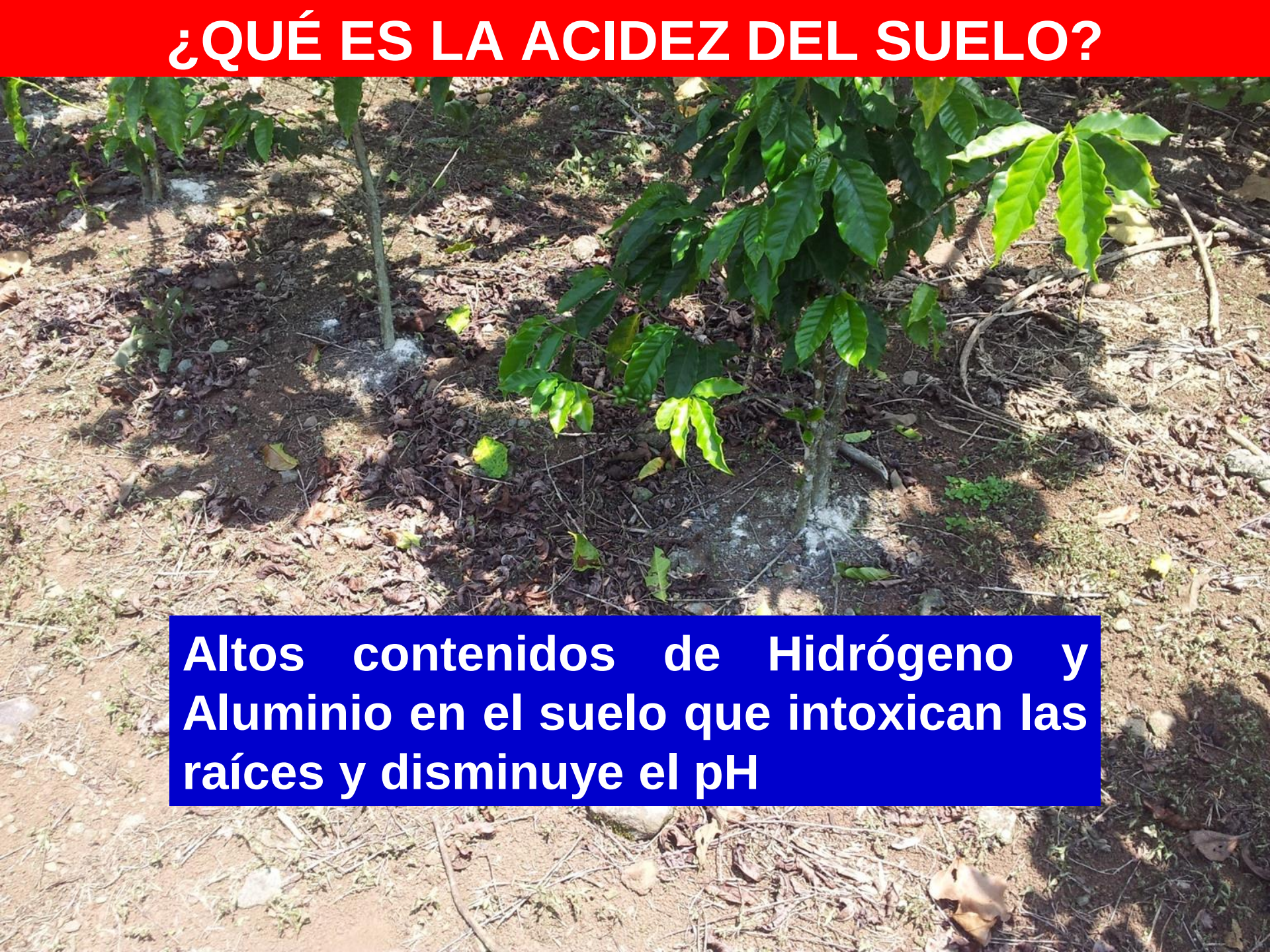
Ing. Eloy Molina, M.Sc.
Facultad de Agronomía
Universidad de Costa Rica
eloy.molina@ucr.ac.cr



A photograph of a steep, reddish-brown soil bank. The soil is exposed, showing a vertical face with some vertical cracks and small plants growing at the base. At the top of the bank, there is dense tropical vegetation, including palm trees and large-leafed plants. Some roots are visible hanging down from the top edge of the soil.

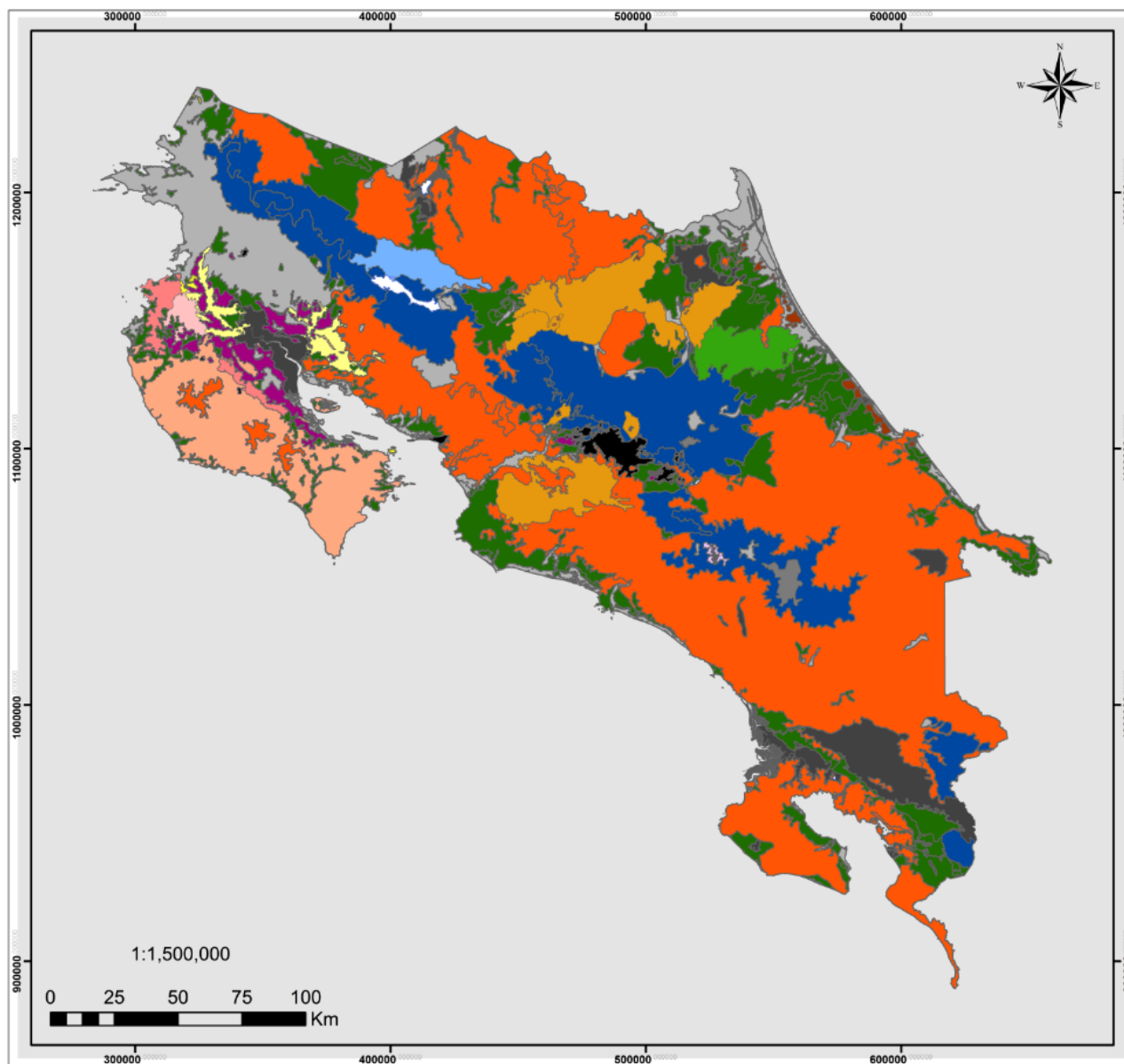
ACIDEZ DE LOS SUELOS

¿QUÉ ES LA ACIDEZ DEL SUELO?

A photograph of a coffee plantation. Several coffee plants with green leaves are visible. The ground is covered with dry leaves and twigs. There are noticeable patches of white, powdery substance on the soil near the base of the plants, which is a common sign of soil acidification in coffee.

Altos contenidos de Hidrógeno y Aluminio en el suelo que intoxican las raíces y disminuye el pH

ÓRDENES DE SUELO DE COSTA RICA



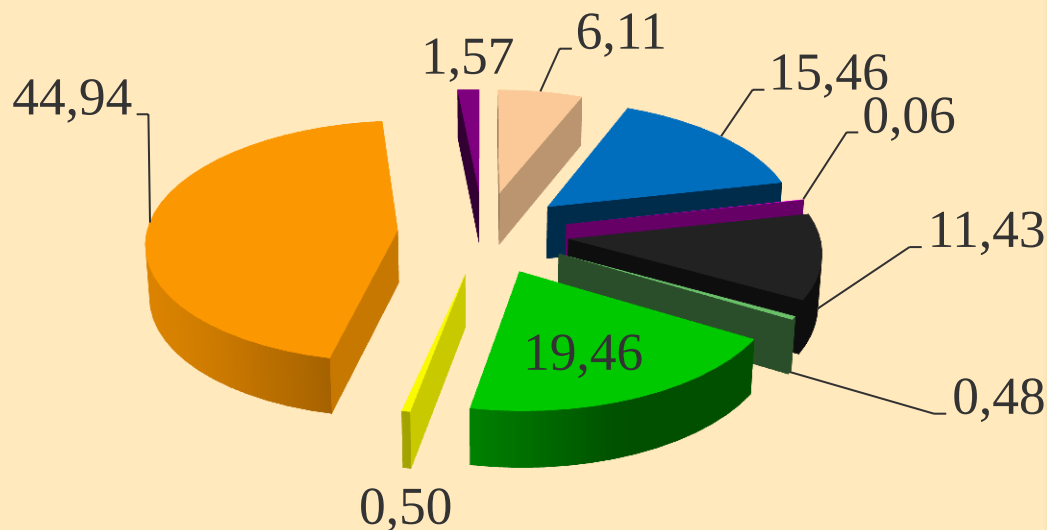
Órdenes de Suelos

- ALFISOLES
- ALFISOLES / ENTISOLES
- ALFISOLES / INCEPTISOLES
- ANDISOLES
- ANDISOLES / ULTISOLES
- ENTISOLES
- ENTISOLES / ANDISOLES
- ENTISOLES / HISTOSOLES
- ENTISOLES / INCEPTISOLES
- ESPODOSOLES
- HISTOSOLES
- INCEPTISOLES
- INCEPTISOLES / ANDISOLES
- MOLLISOLES
- MOLLISOLES / ALFISOLES
- MOLLISOLES / INCEPTISOLES
- ULTISOLES
- ULTISOLES / INCEPTISOLES
- VERTISOLES
- LAGO
- URBANO

Sistema de Coordenadas: Proyección CRTM05
 Datum: WGS 1984
 Sistema de clasificación: Soil Taxonomy USDA. 2010
 Autores: Rafael Mata; Albán Rosales; Alexis Vasquez;
 D'Angelo Sandoval. 2013



Distribución por área (%) de los principales órdenes de suelos de Costa Rica



ALFISOLES ANDISOLES ESPODOSALES
 ENTISOLES HISTOSALES INCEPTISOLES
 MOLLISOLES ULTISOLES VERTISOLES

Órdenes	Área (%)
ALFISOLES	6,11
ANDISOLES	15,46
ESPODOSALES	0,06
ENTISOLES	11,43
HISTOSALES	0,48
INCEPTISOLES	19,46
MOLLISOLES	0,50
ULTISOLES	44,94
VERTISOLES	1,57

Fuente:

Mapa de Ordenes de Suelos de Costa Rica.

Escala: 1:200 000

R Mata et al.

2013

Diagnóstico de problemas de acidez en el suelo

		Bajo	Medio	Óptimo	Alto
pH		< 5	5 – 5.5	5.5 – 6.5	> 7
Calcio	cmol/L	< 4	4 – 6	6 – 15	> 15
Magnesio	cmol/L	< 1	1 – 3	3 – 6	> 6
Potasio	cmol/L	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 0.8	> 0.8
Acidez	cmol/L		0.5 – 1	< 0.5	> 1
Saturación Acidez	%		10 – 30	< 10	> 30
RELACIONES		Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
CATIÓNICAS		2-5	5-25	2.5-15	10-40

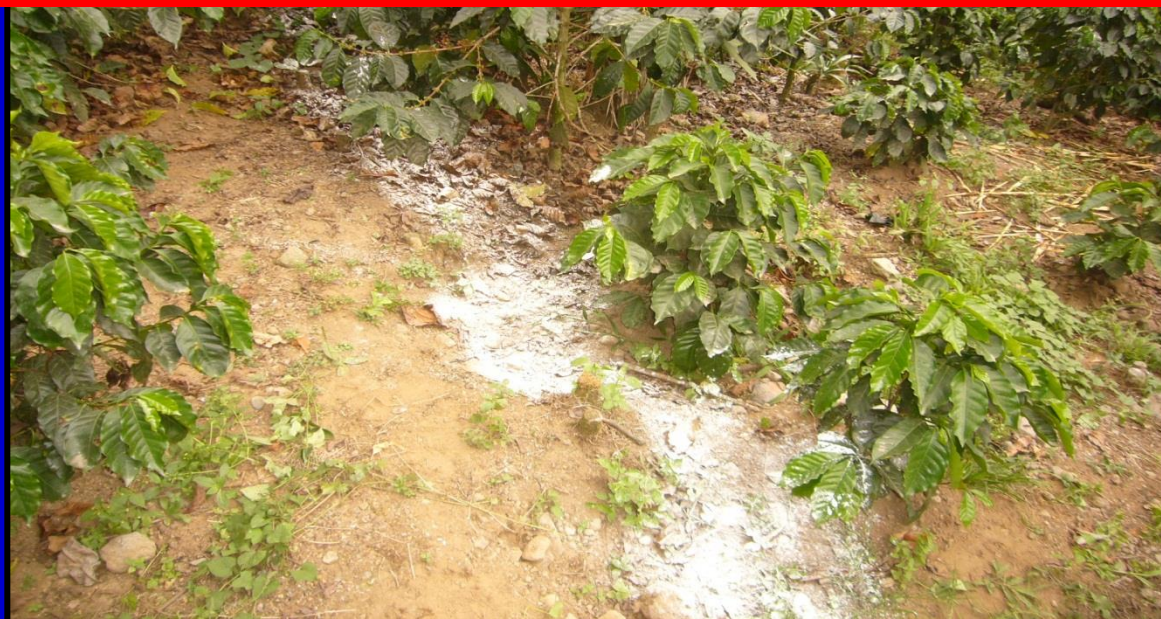
ENCALADO

- Método más común y efectivo para corregir la acidez del suelo, y consiste en la aplicación masiva de sales básicas con el objeto de neutralizar la acidez causada por hidrógeno y aluminio





La cal reacciona químicamente en el suelo y neutraliza la acidez, sube el pH y suministra calcio y/o magnesio



The diagram shows a central blue oval labeled 'TIPOS DE ENMIENDAS' with four white arrows pointing to boxes on the right. The boxes are labeled 'Carbonatos' (yellow), 'Óxidos e hidróxidos' (green), 'Yeso' (orange), and 'SILICATOS' (light green). The background is a photograph of a soil profile with red soil and plant roots.

TIPOS DE ENMIENDAS

Carbonatos

**Óxidos e
hidróxidos**

Yeso

SILICATOS

- **PODER RELATIVO DE NEUTRALIZACION TOTAL**
 - **PRNT**

-Indice de eficiencia del material de encalado

-% de Equivalente Químico de la cal capaz de reaccionar en 3 meses

-PRNT = EQ x EG/100

EQ = Equivalente Químico (Ca y Mg)

EG = Eficiencia Granulométrica (tamaño partículas)

■ PRNT

-Agricultura utiliza la malla 60 mesh

Malla 60 mesh = 100% eficiencia

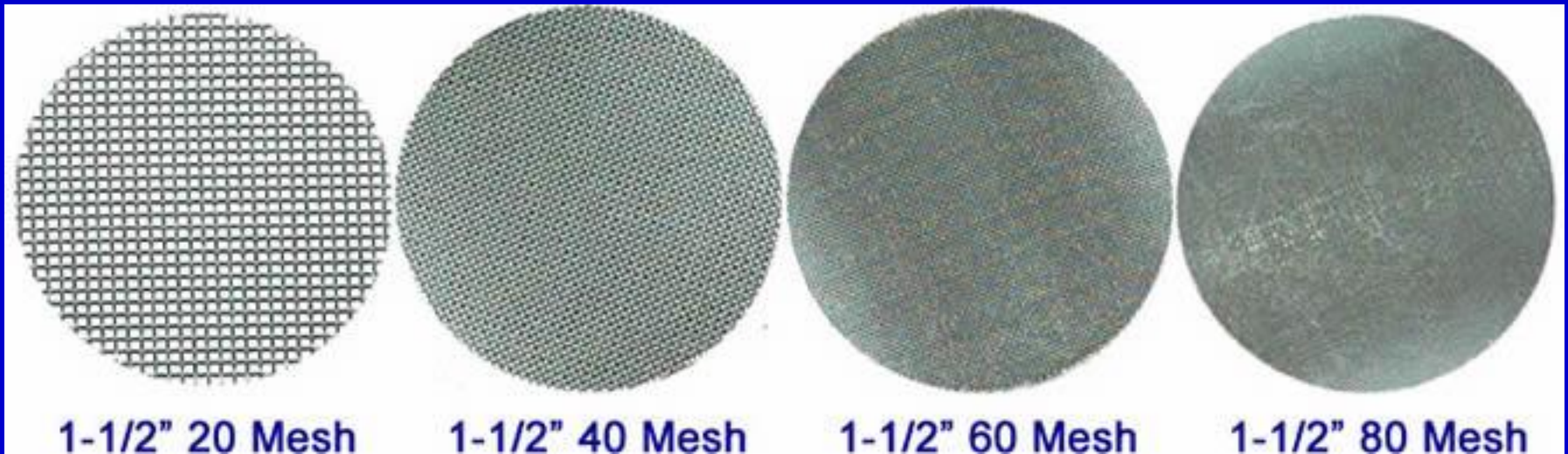
No hay método para evaluar materiales más finos que malla 60 mesh

Enmiendas líquidas: la mayoría > malla 600 mesh, no es posible calcular su PRNT

Eficiencia de enmiendas líquidas: 8 a 10 veces superior a enmiendas en polvo convencionales

Eficiencia granulométrica de la cal con base en el tamaño de malla

Número de malla	Abertura de malla (mm)	Eficiencia relativa (%)	Multiplicar por
< 8 mesh	> 2.36	0	0
8 - 20 mesh	2.36 - 0.85	20	0.2
20 - 40 mesh	0.85 - 0.42	40	0.4
20 - 60 mesh	0.85 - 0.25	60	0.6
> 60 mesh	< 0.25	100	1



CALIDAD DE LOS MATERIALES DE ENCALADO

TAMAÑO DE PARTICULA : EG

Cal retenida en malla 8 mesh: cal inefectiva

Cal retenida en malla 20 mesh: reacciona en 18-24 meses

Cal retenida en malla 40 mesh: reacciona 12-18 meses

Cal retenida en malla 60 mesh: reacciona 6-12 meses

> Malla 60 mesh: reacciona en 3-6 meses

Malla 170 mesh: muy fina, reacciona en 1-2 meses

Malla 600 mesh: reacciona en pocos días

Condición ideal: >80% pase malla 60 mesh



CONCEPTO DE MICRAS Y NANÓMETROS

MICRA O MICRÓN: medida de longitud equivalente a la milésima parte de un milímetro

Símbolo: μm

$$1 \text{ mm} = 1.000 \mu\text{m}$$

$$1 \text{ cm} = 100.000 \mu\text{m}$$

$$1 \mu\text{m} = 1.000 \text{ nanómetros (nm)}$$

NANÓMETRO : unidad de longitud equivalente a la millonésima parte de un milímetro

Símbolo: nm

$$1 \text{ nm} = 0,001 \mu\text{m}$$

$$1 \text{ nm} = 0,000001 \text{ mm}$$

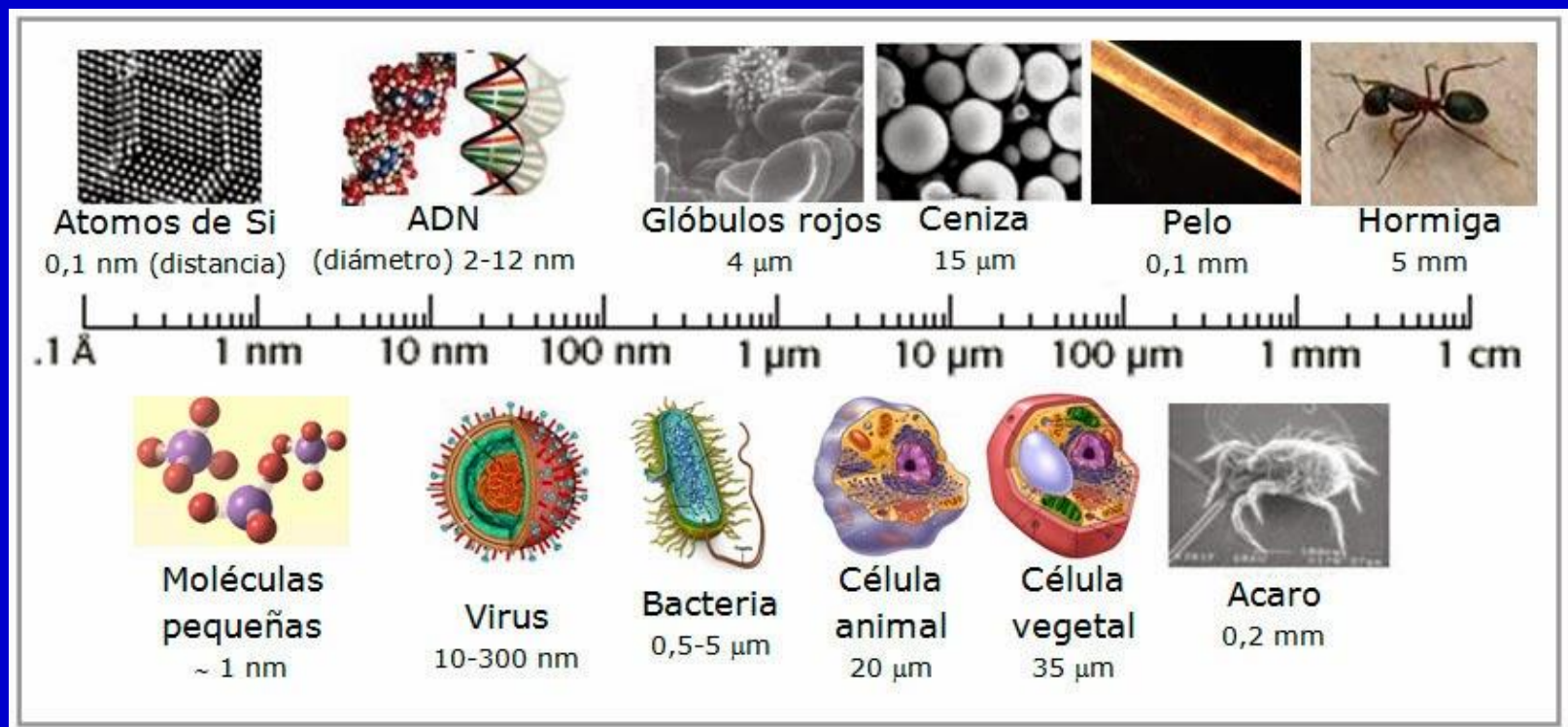
$$1 \text{ mm} = 1.000.000 \text{ nm}$$

MICRONES y NANÓMETROS

Cales líquidas —————> 20 MICRONES (μm)

1 milímetro = 1000 micrones (μm)

1 micrón (μm) = 1000 nanómetros (nm)



Comparación de tamaños

Comparative Particle Size:

U.S. Mesh	Inches	Microns
10	0.0787	2000
12	0.0661	1680
14	0.0555	1410
16	0.0469	1190
18	0.0394	1000
20	0.0331	841
25	0.0280	707
30	.0232	595
35	.0197	500
40	.0165	420
45	.0138	354
50	.0117	297
60	.0098	250
70	.0083	210
80	.0070	177
100	.0059	149
120	.0049	125
140	.0041	105
170	.0035	88
200	.0029	74
230	.0024	63
270	.0021	53
325	.0017	44
400	.0015	37
550	.00099	25
625	.00079	20
1250	.000394	10
1750	.000315	8
2500	.000197	5
5000	.000099	2.5
12000	.0000394	1

Fertilizantes granulados:
6 – 18 mesh (3.000– 1.000 μm)

Carbonatos y Dolomitas:
60 – 100 mesh (250 – 150 μm)

Enmiendas líquidas:
600 - 17.000 mesh (20 – 0.7 μm)

SUPERFICIE ESPECÍFICA

Hay una relación inversa entre tamaño de partículas y superficie específica

Entre más pequeña la partícula mayor superficie específica tiene

Superficie específica aumenta la reactividad de las partículas de cal

Partículas más finas tienen mayor superficie específica que incrementa su poder de neutralizar acidez de suelo

Superficie específica y tamaño de partículas

Diámetro cm	Nombre textural	Superficie específica $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$
0.1	Arena gruesa	31.42
0.01	Arena fina	314.16
0.002	Limo	1570.80
0.0001	Arcilla	31416.00
0.00001	Arcilla coloidal	314160.00

Baver, 1956

ENMIENDAS LÍQUIDAS

Enmienda líquida, enmienda fluida, suspensión

Suspensiones alcalinizantes en presentación líquida, o en presentación en polvo para disolver en agua

Enmiendas en polvo de alta fineza (malla 600 mesh o más fina) que se dispersan en agua

Tamaño: $< 20 \mu\text{m}$ o 20.000 nm , o $< 0,02 \text{ mm}$

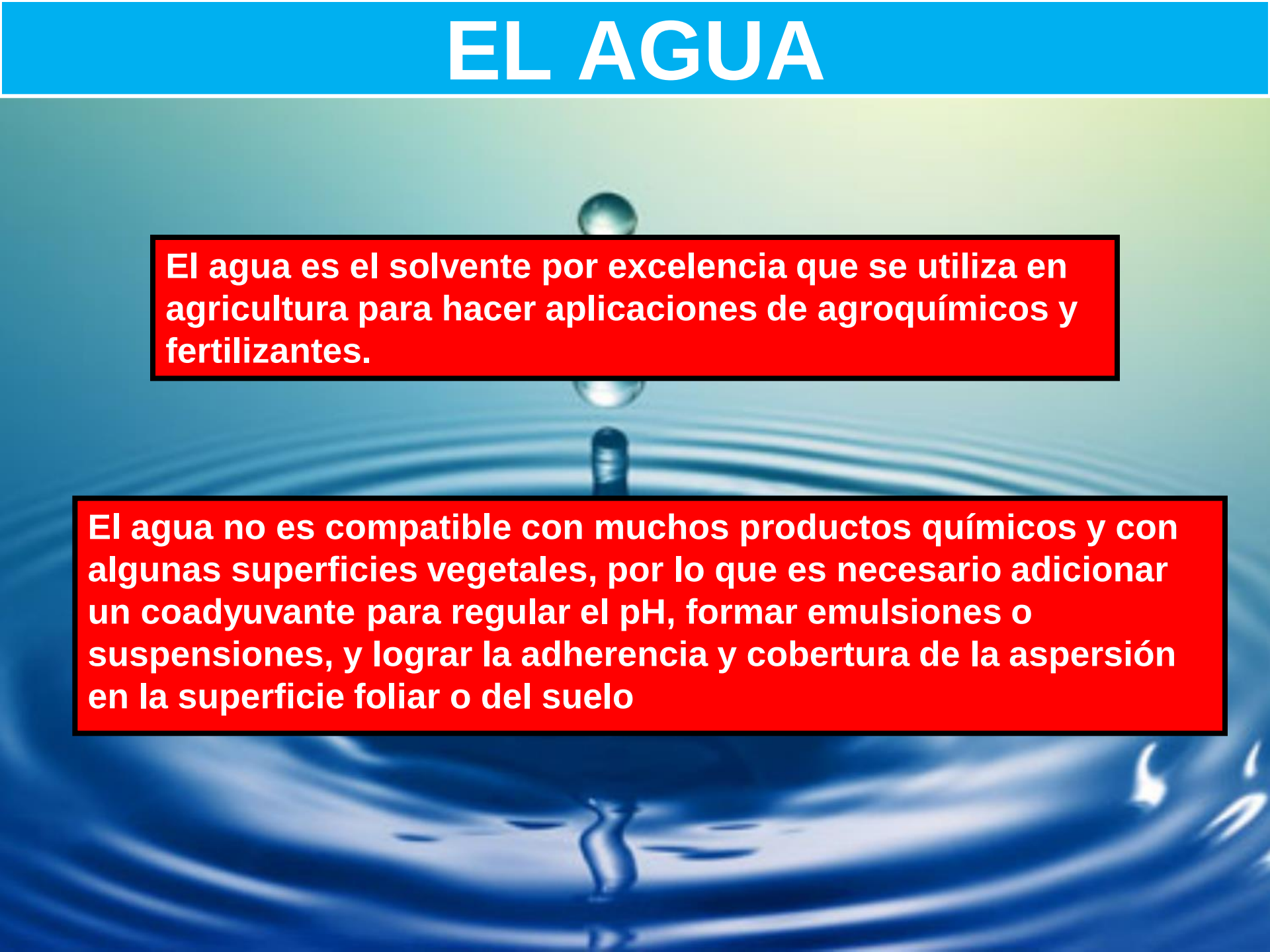
Con ayuda de coadyuvantes y humectantes



Solubilidad de enmiendas en agua es muy baja

Material	Solubilidad g.l⁻¹
Carbonato de calcio	0,014
Carbonato de magnesio	0,106
Hidróxido de calcio	1,85
Hidróxido de magnesio	0,09
Óxido de magnesio	0,086
Yeso	1,34

EL AGUA



El agua es el solvente por excelencia que se utiliza en agricultura para hacer aplicaciones de agroquímicos y fertilizantes.

El agua no es compatible con muchos productos químicos y con algunas superficies vegetales, por lo que es necesario adicionar un coadyuvante para regular el pH, formar emulsiones o suspensiones, y lograr la adherencia y cobertura de la aspersion en la superficie foliar o del suelo

DISPERSANTES

Coadyuvantes que permiten que los polvos mojables se suspendan en el agua formando una dispersión estable y reduciendo la sedimentación. Los dispersantes forman suspensiones de polvos en agua. Algunos ejemplos: polímeros de alquilaril sulfonatos, sales de ligninas sulfonada, silicatos de aluminio y magnesio coloidales, etc



ENMIENDAS LÍQUIDAS

VENTAJAS:

- ✓ **Las enmiendas líquidas permiten mayor facilidad y uniformidad de aplicación, y más seguridad para los trabajadores**
- ✓ **Pueden aplicarse con equipos de aspersión: bombas manuales, sprayer, aéreo, fertirriego, etc**
- ✓ **Causan cambios químico más rápidos en el suelo a corto plazo, logrando incrementos muy rápidos del pH y neutralización de la acidez en unas pocas horas o días después de aplicadas**

ENMIENDAS LÍQUIDAS

VENTAJAS:

- ✓ Tienen un efecto mayor de profundización dentro del perfil del suelo
- ✓ Las enmiendas líquidas se pueden aplicar través de los sistemas de riego.

ENMIENDAS LÍQUIDAS

VENTAJAS:

- ✓ La cal líquida también es útil para cultivos ya establecidos y que permiten la aplicación de la enmienda en forma muy localizada directo al sitio donde crecen más las raíces
- ✓ Ideal para aplicaciones en drench en banda de fertilización de muchos cultivos perennes como palma aceitera, café, banano y frutales.
- ✓ Disminuye tiempo de espera para fertilizar, aumenta ventana de aplicación en el año

ENMIENDAS LÍQUIDAS EN EL MERCADO

Cal 56

Activist Mag Flo

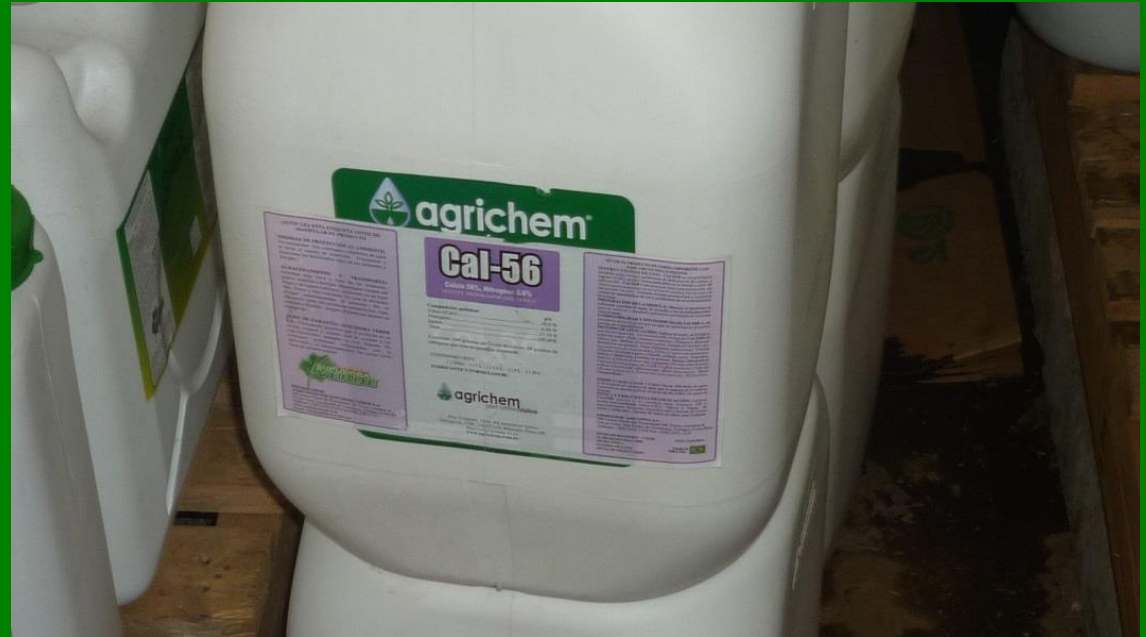
Alcaplant

Agroplant 60

Nutrazorb

Sur Kal

Sur Flow Calcio



COMPOSICIÓN DE ENMIENDAS LÍQUIDAS EN EL MERCADO

ENMIENDA	COMPOSICIÓN	CaO	MgO % p/v	N
Cal 56	Carbonato de calcio, urea	56		6,9
Activist Mag-Flo	Óxido de magnesio		41,5	1,7
Surkal	Carbonato de calcio, urea	54		6
Alcaplant	Óxido de calcio	49		
Ferti G Calcio	Carbonato de calcio	40		
Nutra Zorb Calcio	Carbonato de calcio	42		
Calcio 60	Carbonato de calcio	60		
Sur Flow Calcio	Carbonato de calcio	54		
Sur Flow Calcio Magnesio	Carbonato de calcio, óxido de magnesio	52*	5	

* composición p/p

TAMAÑO DE PARTÍCULAS

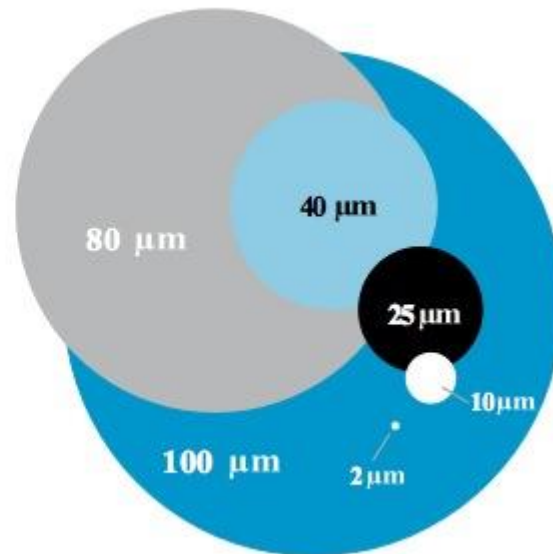
ENMIENDA	MESH %	Micrones	Eficiencia Granulométrica %	PRNT %
Carbonato calcio	60	250	100	95 - 100
Dolomitas	60 -100	250 - 150	100	95 - 100
Surflow	600	20	?	?
Surkal	600	20	?	?

¿Qué tan grande es un Micrón?

Tabla comparativa de un Micrón con partículas familiares.

Grano de Sal	100 μm
Cabello Humano	80 μm
Límite Inferior de Visibilidad	40 μm
Glóbulo Blanco	25 μm
Polvo de Talco	10 μm
Glóbulo Rojo	8 μm
Bacteria	2 μm

Fuente: Shoptalk Donaldson®



Aplicación de enmienda líquida en piña



RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN



Aplicación de enmiendas líquidas en café



Aplicación de enmiendas líquidas en banano

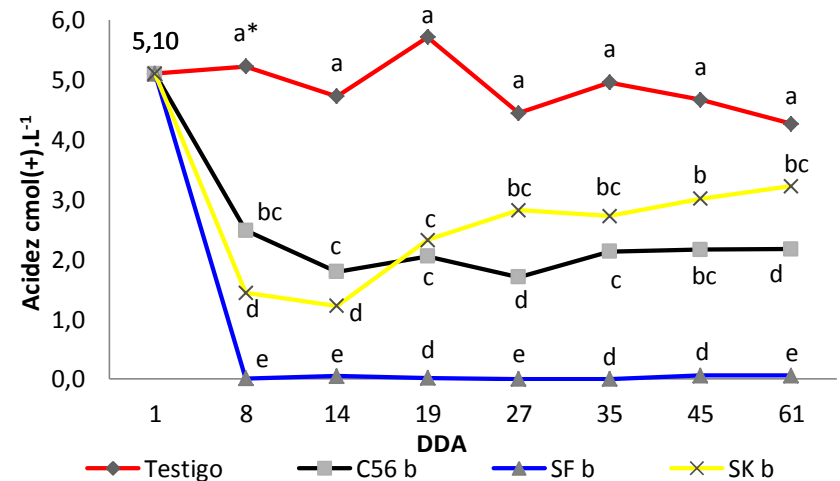
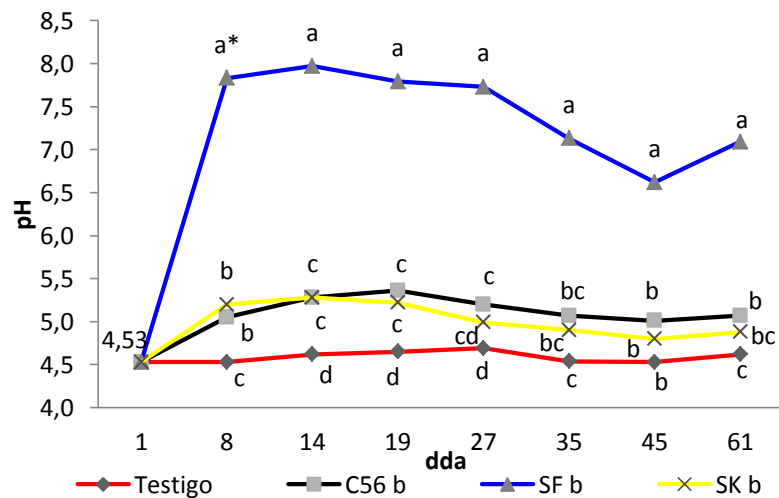
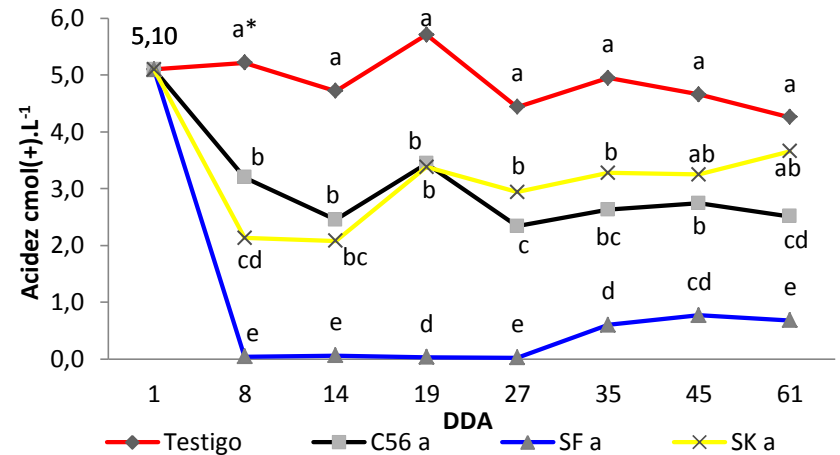
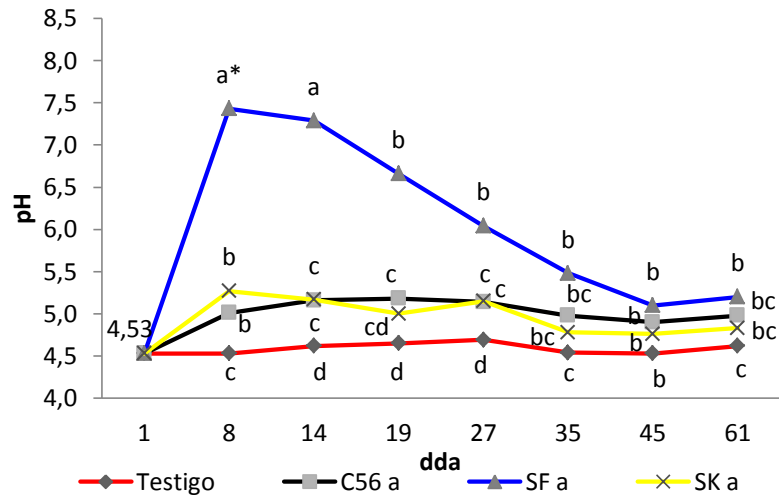


Aplicación de enmiendas líquidas en un suelo ácido cultivado con maíz en invernadero (Garbano, Molina y Cabalceta 2015)

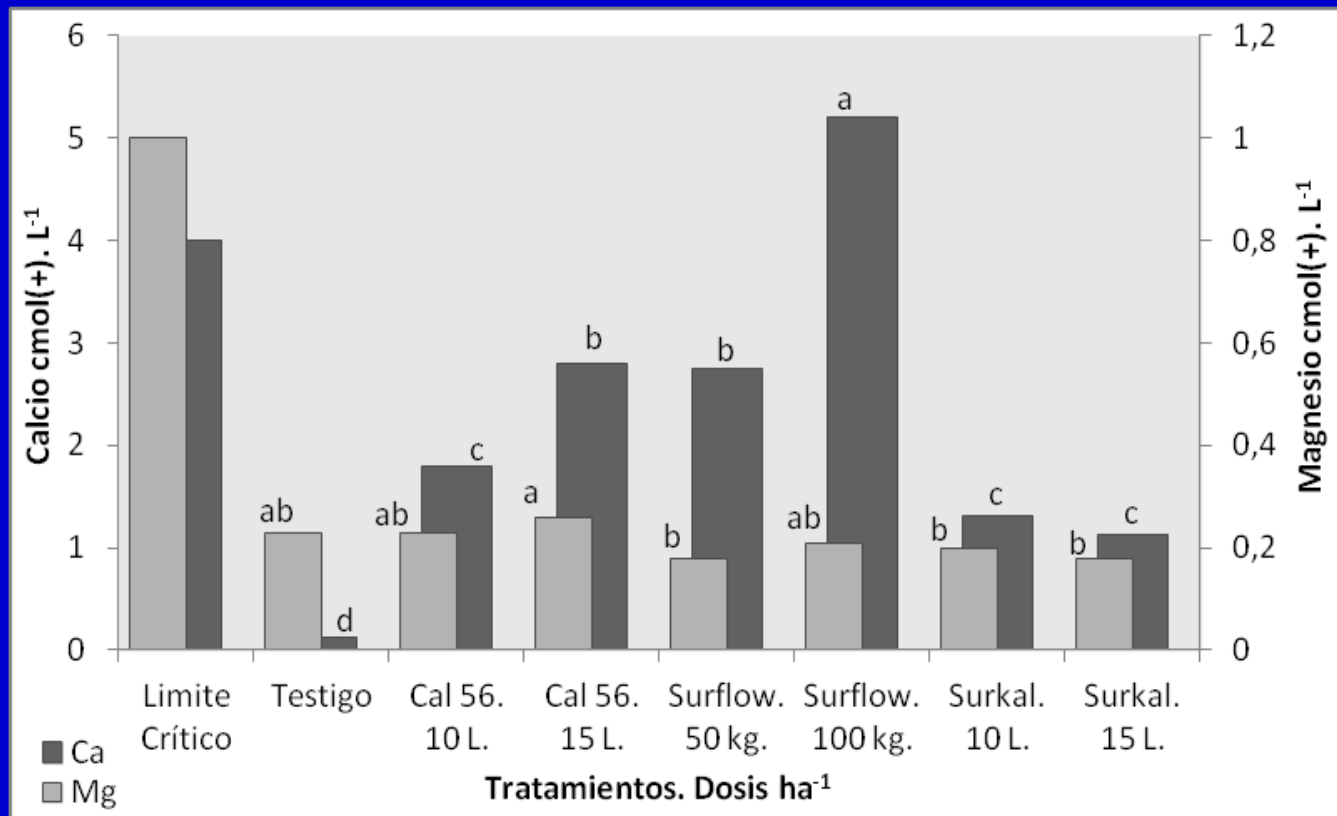
Tratamientos	símbolo	Dosis
Testigo	T	
Cal 56	C56	10 l.ha ⁻¹
		15 l.ha ⁻¹
Surflow Calcio	SC	50 kg.ha ⁻¹
		100 kg.ha ⁻¹
Surkal	SK	10 l.ha ⁻¹
		15 l.ha ⁻¹



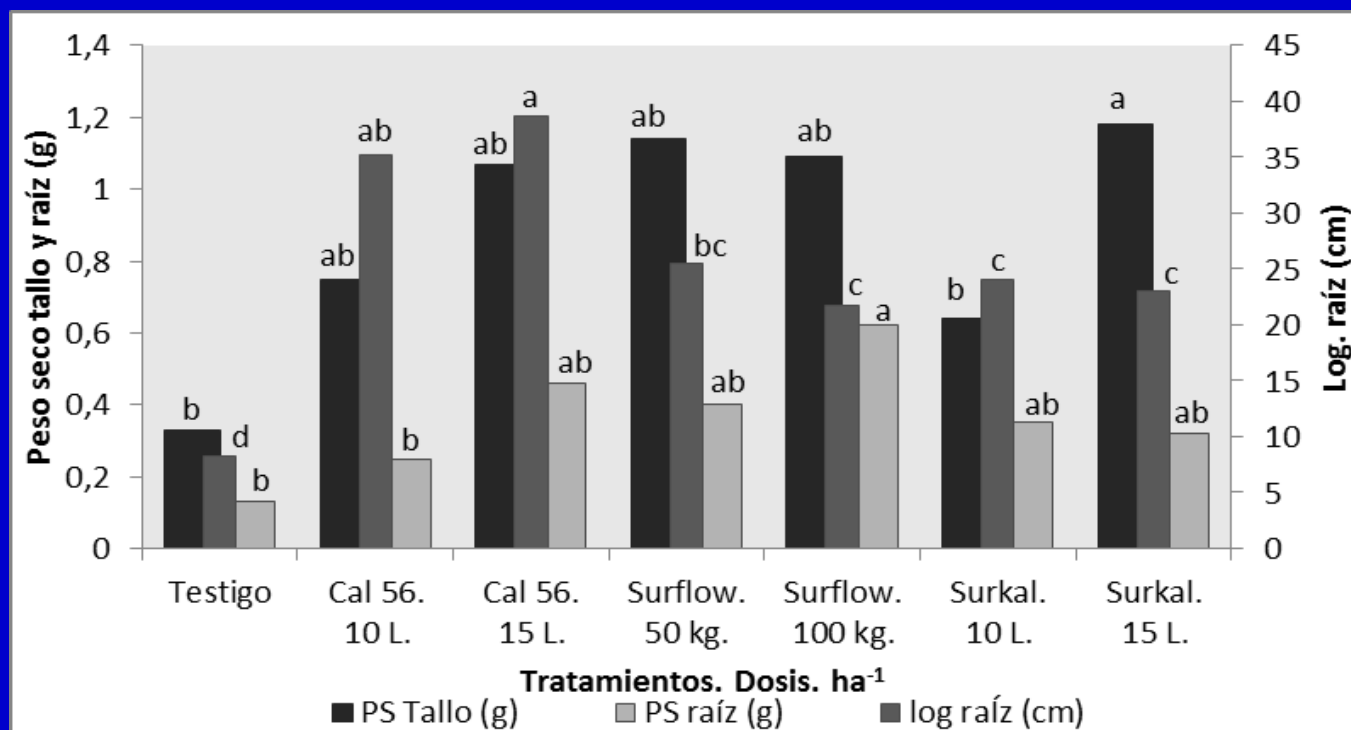
Efecto de la aplicación de enmiendas líquidas en el pH y Acidez Intercambiable del suelo (Garbanzo et al 2015)



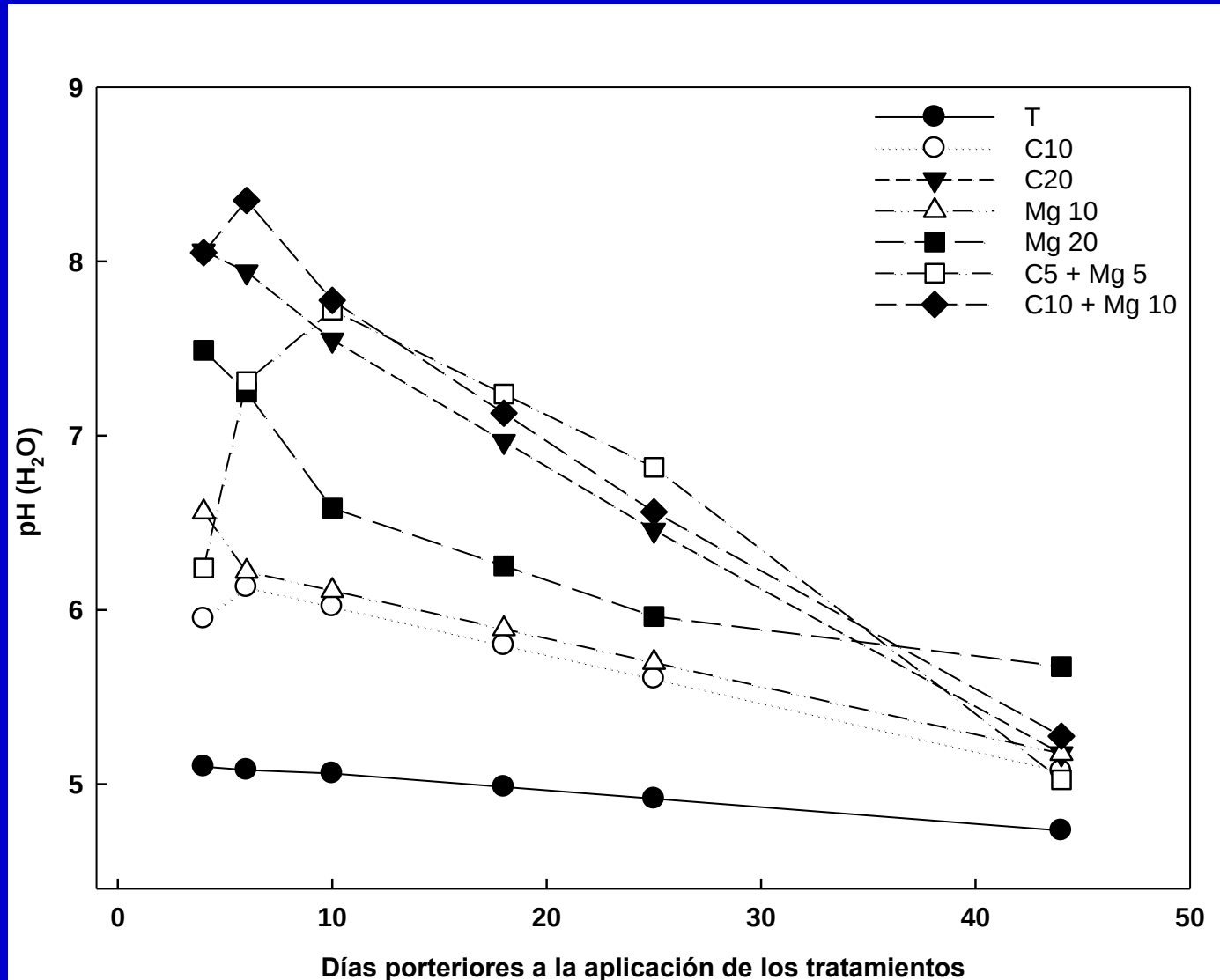
Efecto de enmiendas líquidas en contenido de calcio y magnesio (Garbanzo et al 2015)



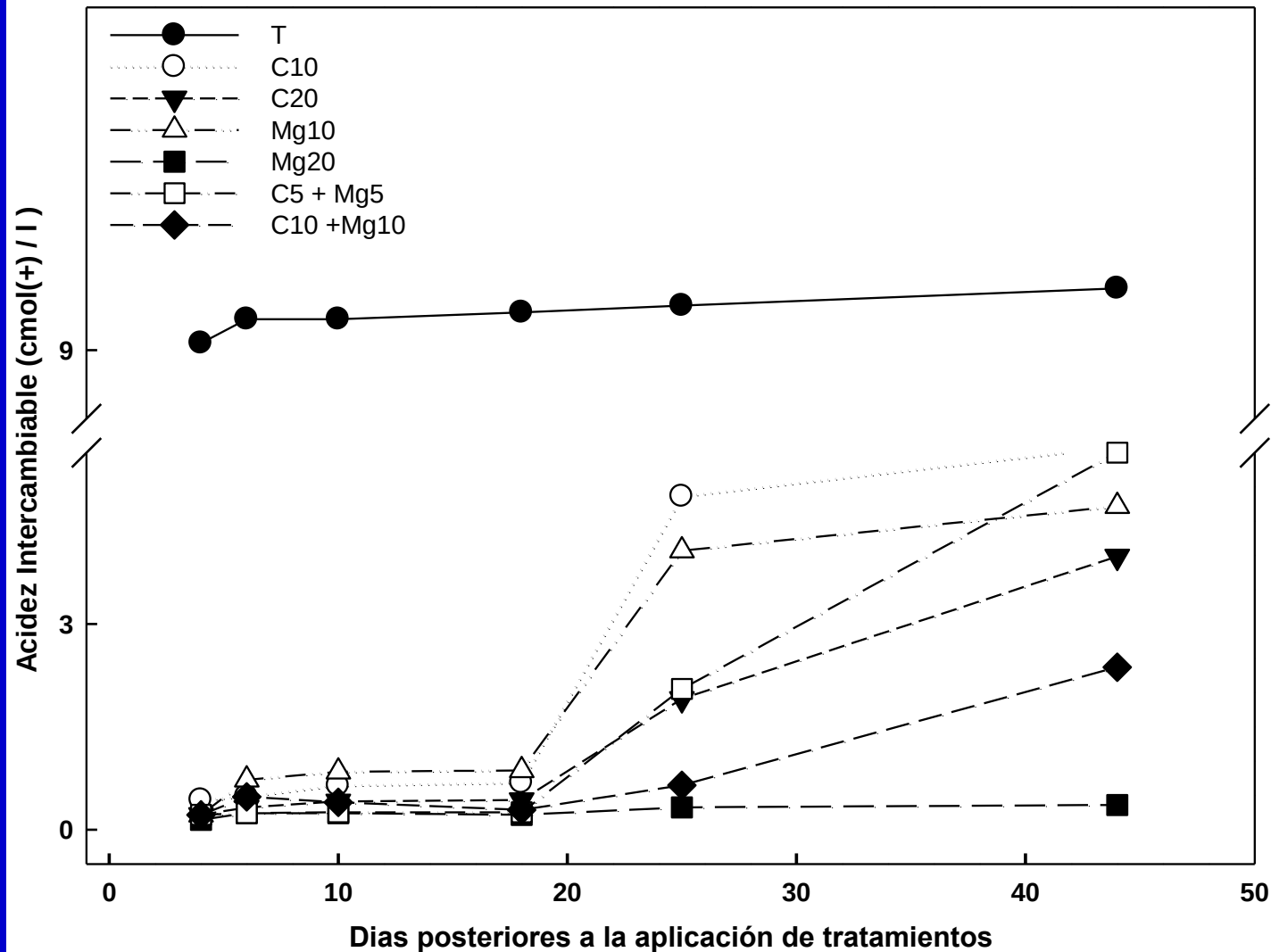
Efecto de enmiendas líquidas en peso de plantas de maíz (Garbanzo et al 2015)



Efecto de enmiendas líquidas en el pH del suelo (Camacho et al 2015)



Efecto de enmiendas líquidas en la Acidez Intercambiable del suelo (Camacho et al 2015)



Efecto de enmiendas líquidas en arroz (Valerio y Molina 2012)

Tratamiento	Tamaño panícula cm	Número espigas	Número granos totales	Número granos vanos	Peso 1000 granos g	Rendimiento pilado %	Grano quebrado	Rendimiento kg ha ⁻¹
Testigo sin enmienda	27,75	13,45	139	24,7	32,75	70,2 a	11,9	4500 a
Cal 56 6 L ha ⁻¹ + Nitro LL	28,27	13,50	143	21,6	33,03	69,5 ab	14,3	5660 ab
Cal 56 8 L ha ⁻¹	29,10	14,15	158	23,1	33,33	69,6 ab	11,4	6300 b
Cal 56 10 L ha ⁻¹	28,15	13,38	146	20,6	33,63	69,1 b	12,5	5560 ab

NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA EL CONTROL DE LA ACIDEZ DEL SUELO: ENMIENDAS LÍQUIDAS



Ing. Eloy Molina, M.Sc.
Facultad de Agronomía
Universidad de Costa Rica
eloy.molina@ucr.ac.cr

